



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

VALIVÉ VEDENÍ BERANU

ROLLING GUIDE OF SLIDE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jakub Kosar

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jiří Omes, Ph.D.

BRNO 2017

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student: **Jakub Kosar**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Jiří Omes, Ph.D.**
Akademický rok: 2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Valivé vedení beranu

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Návrh valivých hnízd vedení beranu mechanického lisu s možností vymezení vůlí. Valivá hnízda budou vést beran po kalené liště umístěné na stojanu lisu. Mechanismus vymezení vůlí navrhnout tak, aby byl součástí valivého hnízda.

Technické parametry:

Jmenovitá síla: 2500 kN
Pracovní dráha: 10 mm
Počet zdvihů: 24 1/min
Zdvih: 200 mm
Přestavení zdvihu: 130 mm
Sevřená výška: 580 mm
Upínací plocha beranu: 720x790 mm
Upínací plocha stolu: 800x950 mm
Excentrické zatížení lisu: 50 mm

Cíle bakalářské práce:

1. Sestava beranu s valivými hnízdy.
2. Návrh valivých hnízd.
3. Návrhové a kontrolní výpočty.

Seznam doporučené literatury:

ČECHURA, Milan, Jan HLAVÁČ a Jiří STANĚK. Konstrukce tvářecích strojů. Učební texty pro bakalářské i navazující magisterské studium. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2015. ISBN 978-80-261-0513-8.

KAMELANDR, Ivan. Tvářecí stroje I. Brno: VUT FS v Brně, 1989, ISBN 80-214-1037-X.

KAMELANDR, Ivan. Tvářecí stroje II. Brno: VUT FS v Brně, 1989, ISBN 80-214-1038-8.

NOVOTNÝ, Karel. Výrobní stroje a zařízení: Tvářecí stroje. Brno: VUT FSI v Brně, 2002.

STANĚK, Jiří. Základy stavby výrobních strojů: tvářecí stroje. Plzeň: Západočeská univerzita, 2001. ISBN 80-7082-738-6.

RUDOLF, Bedřich. Výrobní stroje a zařízení II. Praha: ČVUT Praha, 1990.

DRASTÍK, František. Výpočty z oboru kování a lisování. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1972

ČSN 210001: 1996 Tvářecí stroje – Všeobecné technické požadavky.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato práce se zabývá návrhem valivého vedení beranu mechanického lisu s možností vymezení vůlí. Poskytuje přehled používaných vedení u lisů. Rozebírá jednotlivé druhy vedení a udává jejich použití. Ukazuje postup při návrhu a kontrole valivého vedení a jeho částí, zejména rolny, čepu rolny, ložiska a stavěcího klínu.

ABSTRACT

This work deals with the design of rolling guide of slide for mechanical press with clearance setting option. It provides guide view used for presses. It analyses individual types of guide and indicates their use. It shows the operating for design and control rolling guide and its parts, especially roller, roller pin, bearing and adjustable wedge.

KLÍČOVÁ SLOVA

Mechanický lis, klikový mechanismus, valivé vedení, vedení beranu, rolna, excentrické zatížení, klopný moment, normálová síla, Hertzův tlak, nastavení vůle

KEYWORDS

Mechanical press, crank mechanism, rolling guide, ram guide, roller, excentric load, tilting moment, normal force, Hertz pressure, clearance setting

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KOSAR, J. *Valivé vedení beranu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2017. 49 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jiří Omes, Ph.D.

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Jiřímu Omesovi, Ph. D. za odborné vedení, trpělivost, ochotu a cenné rady. Dále děkuji své rodině a přátelům za podporu a motivaci při studiu.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Jiřího Omese, Ph.D. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 26. 5. 2017

.....

Kosar Jakub

OBSAH

1	ÚVOD	15
3	VEDENÍ BERANU LISŮ	17
3.1	Sloupové vedení.....	17
3.2	Lištové vedení.....	19
3.2.1	Lištové vedení ve tvaru „X“	20
3.2.2	Lištové vedení ve tvaru „O“	21
3.2.3	Pravoúhlé lištové vedení.....	21
3.3	Valivé vedení	22
3.3.1	Sloupkové vedení s kuličkovými dráhami.....	22
3.3.2	Sloupkové vedení s kuličkovými pouzdry.....	23
3.3.3	Předeprnuté valivé vedení.....	24
3.3.4	Vedení valivými tělesy	26
3.4	Nastavení vůle ve vedení	28
3.5	Mazání vedení.....	29
4	NÁVRHOVÉ A KONTROLNÍ VÝPOČTY VALIVÉHO VEDENÍ.....	31
4.1	Zadané technické parametry	31
4.2	Zvolené technické parametry	31
4.3	Síly a momenty na beranu jednobodového klikového lisu [1]	32
4.3.1	Síly a momenty na klikovém mechanismu se třením	32
4.3.2	Normálové síly na beranu.....	34
4.4	Kontrola rolny na kontaktní napětí [6]	35
4.4.1	Materiálové charakteristiky rolny a vodící lišty	36
4.4.2	Výpočet kontaktního napětí na rolně.....	36
4.5	Pevnostní kontrola čepu rolny	37
4.5.1	Statická rovnováha na čepu	38
4.5.2	Kontrola otláčení čepu.....	38
4.5.3	Kontrola na ohyb čepu.....	38
4.6	Výpočet trvanlivosti ložisek [6].....	39
4.6.1	Parametry pro volbu ložiska	39
4.6.2	Volba ložiska	39
4.7	Samosvornost stavěcího klínu	41
4.7.1	Parametry pro návrh klínu	41
4.7.2	Kontrola samosvornosti klínu.....	41
6	ZÁVĚR.....	43
7	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	45
8	SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK.....	47
8.2	Seznam obrázků.....	47
9	SEZNAM PŘÍLOH	49

1 ÚVOD

Mechanické lisy jsou tvářecí stroje, tedy výrobní stroje, které trvale mění tvar materiálu, aniž by se přitom měnil objem polotovaru, působením poměrně velké mechanické síly. Jedná se o beztržiskovou výrobu. Odpad sice vzniká, ale obvykle je vcelku [1]. Řadí se mezi nejpoužívanější tvářecí stroje.

U této bakalářské práce je zadán jednobodový klikový lis, který se řadí mezi univerzální lisy. Jmenovitá síla zadaného lisu je 2500 kN, což nabádá k podobnosti s lisem LU 250 (Obr. 1), nově LKJA 250. Jeho výhoda spočívá právě v jeho univerzálnosti, jednoduchosti a cenové dostupnosti. Využití má pro širokou škálu technologických operací, jako je stříhání, ohýbání, mělké tažení, protlačování za studena i za tepla, ražení atd. [5].

Do mechanických lisů spadají lisy vřetenové, výstředníkové, klikové atd. Jak již název napovídá, lisy se od sebe liší např. hlavním poháněcím ústrojím. Toto ústrojí může být šroubové vřeteno s maticí převádějící rotační pohyb setrvačníku na přímočarý pohyb beranu. Dále klikový mechanismus vyvozující sílu excentrickým uložením otočného výstředného pouzdra na klikovém čepu nebo klikový hřídel, na kterém je uložena ojnice převádějící rotační pohyb na přímočarý. Mechanická energie je převedena na smykadlo, neboli beran, ten koná přímočarý vratný pohyb. Na beranu je upevněn požadovaný tvářecí nástroj, kterým předáváme energii polotovaru.

Na berany jsou kladeny různé konstrukční požadavky. Jedním z nich je dokonalé vedení k zajištění vzájemné polohy obou částí nástroje [2]. U jednobodových lisů s využitím klikového mechanismu dochází k namáhání vedení beranu od vodorovné složky síly, která vzniká na začátku procesu tváření. V dolní mrtvé poloze je rovna nule. Dále je vedení zatěžováno klopným momentem vznikajícím od excentrického působení jmenovité síly. Toto excentrické působení vznikne rozměrovou nebo silovou nevyvážeností tvářeného kusu.

Úkolem bakalářské práce je navrhnout valivé vedení beranu s minimální nebo nulovou vůlí, kde je potřeba zachytit výše zmiňované síly, tedy vodorovnou složku síly od klikového mechanismu a silovou dvojici klopného momentu.



Obr. 1) Jednobodový klikový univerzální lis LU 250 [8]

2 VEDENÍ BERANŮ LISŮ

Vedení beranu lisu lze jednoduše rozdělit na kluzné a valivé, jako u výrobních strojů všeobecně. U lisů se kluzné vedení dále dělí na sloupové a lištové.

Na přesný pohyb beranu má vliv pravidelný chod a správná vůle ve vedení. Přesnost vedení beranu ovlivňuje také délka vedení, kvalita vyhotovení a jeho nastavení na lisu [4].

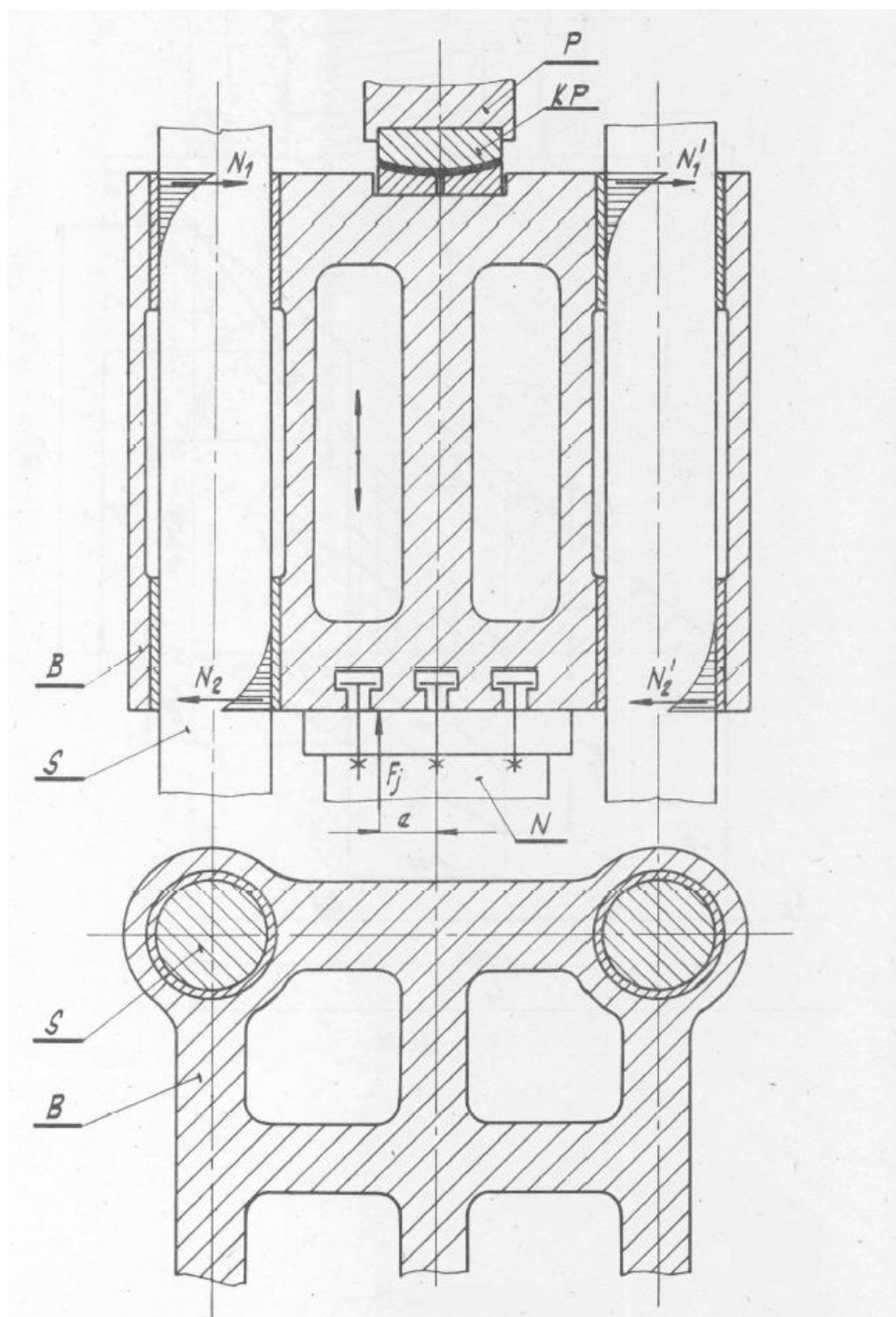
2.1 Sloupové vedení

Jedná se o vedení kluzné. Je realizováno mezi válcovými sloupy a kluznými pouzdry. Po válcových sloupech, které jsou zároveň i stojinami rámu, se přímočaře posouvá střední pohyblivá traverza s kluznými pouzdry. U klasických hydraulických lisů se místo pohyblivé traverzy používá beran. Osy válcových sloupů jsou rovnoběžné. Mohou být uspořádány svisle, vodorovně nebo šikmo. Počet sloupů bývá dva, tři, čtyři, šest nebo více [1]. Výhodou je využití sloupů stojanu pro vedení střední pohyblivé traverzy nebo beranu a relativně jednoduchá a levná výroba [12]. Tento způsob vedení se používá např. u lisu CKV 7200/10500 (Obr. 2).



Obr. 2) Hornotlaký čtyřsloupový kovací lis CKV 7200/10500 [9]

Lis je namáhán od excentrického zatížení přes nástroj přenášející zatěžující sílu, která dále působí na rameni beranu. Zatěžující síla se zčásti zachycuje v kulové pánvi, tlačené plunžrem v hydraulickém válci, a vodících sloupech. Mezi vodícími sloupy a kluznými pouzdry se rozkládá tlak vyvolávaný nakláněním beranu klopným momentem. Beran způsobuje ohyb sloupů normálovými silami v těžištích rozložení tlaků v kluzných pouzdrech beranu (Obr. 3). Dovolенý měrný tlak mezi vodícím sloupem a délkou pouzdra je 20 – 25 MPa při použití bronzového pouzdra a ocelového žíhaného sloupu [1].



N – nástroj; B – beran; KP – kulová pánev; P – plunžr; S – vodící sloupy; F_j – zatěžující síla; e – rameno zatěžující síly k ose beranu; N_1 , N_2 , N_1' , N_2' – normálové síly

Obr. 3) Řez čtyřsloupovým vedením beranu hydraulického lisu [1]

Na rozložení tlaků má vliv [1]:

- vůle mezi kluznými pouzdry a vodícími sloupky
- opotřebení vodících ploch
- přesnost výroby, tj.:
 - rovnoběžnost sloupů a vodících otvorů v beranu
 - souosost sloupů a vodících otvorů
 - souosost pouzder
- deformace vodících sloupů a beranu
- proměnlivost excentricity zatěžující síly

Klopný moment a jeho velikost závisí na [1]:

- velikosti dvojic sil
- vzdálenost dvojic sil, ta dále závisí na:
 - poměru vzdálenosti os vodících sloupů k délce vedení beranu

Vodící sloupky se vyrábí z konstrukční oceli třídy 11 a 12, např. ze žíhané konstrukční oceli 12061.2 při nízkých požadavcích na přesnost vedení pro volné kování. Povrchy vodících sloupů, po kterých je veden beran nebo střední pohyblivá traverza, jsou broušeny na Ra 0,8. Kluzná pouzdra se dělají z bronzu nebo šedé litiny. Litina se využívá pro méně namáhaná pouzdra. Bronz je výhodný z hlediska svých dobrých kluzných vlastností. Lze použít např. kovaná pouzdra z bronzu 423046.8, který má zvláště dobrou odolnost proti korozi, vysokou pevnost a vysokou odolnost proti opotřebení [1], [10].

2.2 Lištové vedení

Tento typ vedení je také kluzný. Řadí se mezi nejpoužívanější vedení u tvářecích strojů. Vedení se skládá z několika dvojic k sobě přiléhajících kluzných lišt, které se po sobě kloužou. Lišty se montují na rám i beran lisu. Dříve se také jako kluzné lišty používaly vytyčené plochy beranu, tento způsob se však už v dnešní době nepoužívá z důvodů zbytečně vysokých nákladů při výměně. Mezi lištami je určitá požadovaná vůle. Dvojice lišt se mohou vyskytovat v závislosti na konkrétním lisu po dvou, čtyřech, osmi a více. Uspořádání vedení se dělá především svislé a také vodorovné. Základní dělení je tvaru „X“, „O“ a pravoúhlé. Dále se používají různá speciální vedení, jako např. prizmatické pro vedení beranů bucharů, poloviční „X“ vedení pro stojany tvaru „C“ nebo vedení tvaru „T“ pro vedení beranu s vodorovným pohybem.

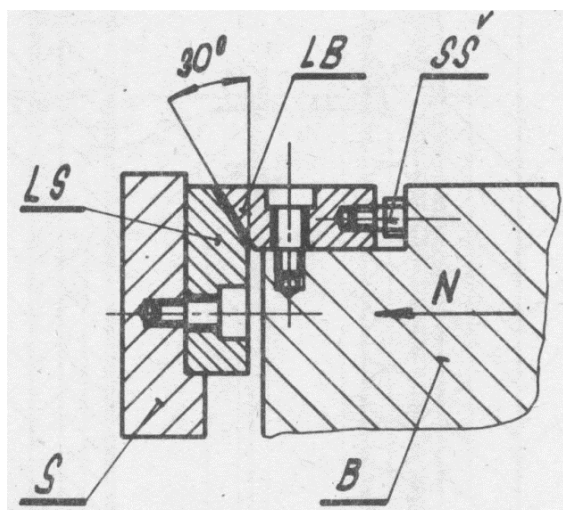
Kluzné lišty musí být uzpůsobeny k tomu, aby bylo možno seřídít vůli ve vedení z důvodu opotřebení. Kvůli rovnoměrnosti opotřebení musí při zdvihu přejíždět lišta beranu lištu stojanu na obou koncích o určitou vzdálenost. Dále je vhodná vyměnitelnost lišt – v dnešní době již na většině lisů [1]. Příkladem lisu s lištovým vedením je hydraulický univerzální lis CTH (Obr. 4 a). U beranu lisu lze po levé a pravé straně vidět přišroubované kluzné lišty.

Normálové síly od klopného momentu jsou zachycovány lištami v rámu. Čím širší je pracovní prostor lisu, tím delší by bylo třeba vedení beranu, kvůli případnému vyššímu excentrickému zatížení. Při použití dvoubodového uspořádání (dvě kliková ústrojí) s opačným smyslem otáčení lze vedení nahradit kratším a přitom reakce a tlaky v lištách nepřekročí dovolenou hodnotu. Předpokládá se trojúhelníkové rozložení tlaku [2].

Lišty mohou být z různých materiálů v závislosti na typu stroje. Zpravidla se lišty na beranu dělají z měkkého materiálu, protože jsou kratší a tudíž levnější při výměně. U kluzných vedení s menší přesností jsou lišty beranu z oceli na odlitky a na stojanu jsou litinové, textitové nebo bronzové lišty. Pro větší tlaky a vyšší nároky na přesnost se používají celobronzová vedení nebo lišty z kované hliníkové bronze 423146.6 nebo 423046. Nejpresnější vedení bývají z kalené oceli 14220.9 nebo nitridované oceli 14340.9 [1], [5].

2.2.1 Lištové vedení ve tvaru „X“

Je to čtyřboké vedení. Normálová síla od excentricity se zachytává větší průmětnou plochou lišty, proto je sklon kluzné plochy 30° . Tento sklon směřuje do středu beranu, aby se z důvodu roztažení beranu při jeho ohřátí při práci lisu nezmenshovaly vůle ve vedení. Vedení brání úhlovému natočení beranu. Požadovaná vůle se nastavuje pomocí stavěcích šroubů [1] (obr. 4 b). Používá se např. u univerzálních lisů pro kovárny – LKJP 400.

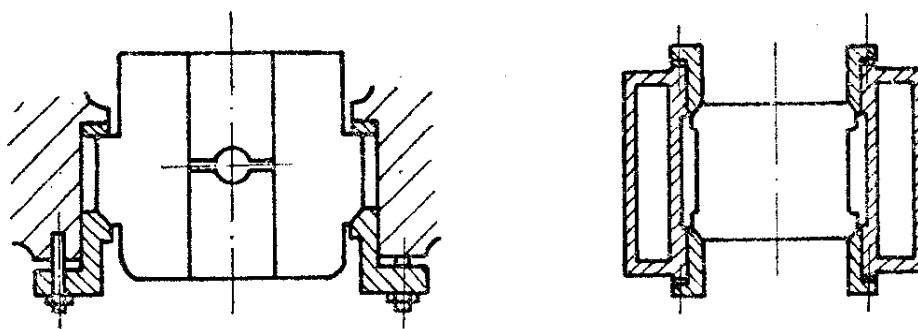


N – normálová síla; S – stojan (rám); LS – kluzné lišty stojanu; B – beran; LB – kluzné lišty beranu; SŠ – stavěcí šroub

Obr. 4) a) Hydraulický univerzální lis CTH [11]
b) Lištové vedení ve tvaru „X“ [1]

2.2.2 Lištové vedení ve tvaru „O“

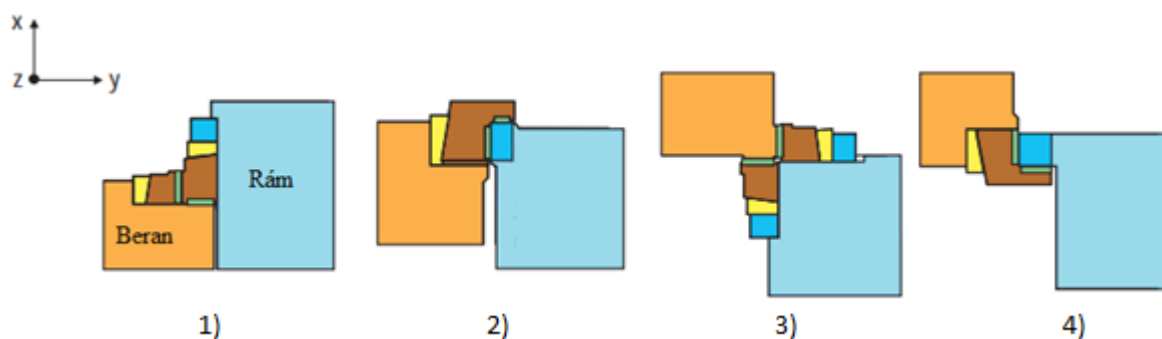
Vyrábí se jako čtyřboké vedení. Různá provedení lištového vedení také odpovídají určitým typům rámců. Lištové vedení ve tvaru „O“ je používáno u dvoustojanových uzavřených stojanů. Vedení je možné vidět i v kombinaci s jiným tvarem lištového vedení (Obr. 5 a). U provedení a) jsou přední lišty ve tvaru „O“ stavitelné pomocí dotlačovacích šroubů po bocích vedení, což umožňuje nastavení vůle. Beran se opírá o zadní pravoúhlé lišty. Z pohledu výroby se dosedací plochy ve stojanu obrábí snadno. Provedení b) je výhodné z hlediska možné změny polohy beranu ve všech směrech a jednoduchým vymezováním vůle vzniklé opotřebením (Obr. 5 b). Lišty jsou vyměnitelné u obou provedení [2]. Tento typ vedení lze najít např. u čtyřbodových klikových lisů PKZV 1250, které jsou využívány pro plošné tváření v automobilovém průmyslu. Zde se s oblibou používají vodící lišty z materiálu Luytex.



Obr. 5) a) Kombinace lištového vedení ve tvaru „O“ a pravoúhlého [3]
 b) Lištového vedení ve tvaru „O“ [3]

2.2.3 Pravoúhlé lištové vedení

Dělá se jako osmiboké vedení. Z lištového vedení je pravoúhlé nejpoužívanější, protože je z hlediska výroby nejjednodušší. Největší využití má v oboru plošného tváření. Provedení 1) a 2) je pro lis se dvěma stojinami. Typ 3) a 4) se používá u lisů se čtyřmi stojinami (Obr. 6 a). Pro široké boční stojiny je provedení 1) a pro úzké 2). Řešení 3) je vhodné pro vysoké excentrické zatížení ve směru x a y, zatímco u 4) pouze ve směru y. [7]. Vedení se dělá např. na klikové tříbodové lisy LKTA 450, které jsou určeny především pro postupové lisování ve sdružených nástrojích [14].



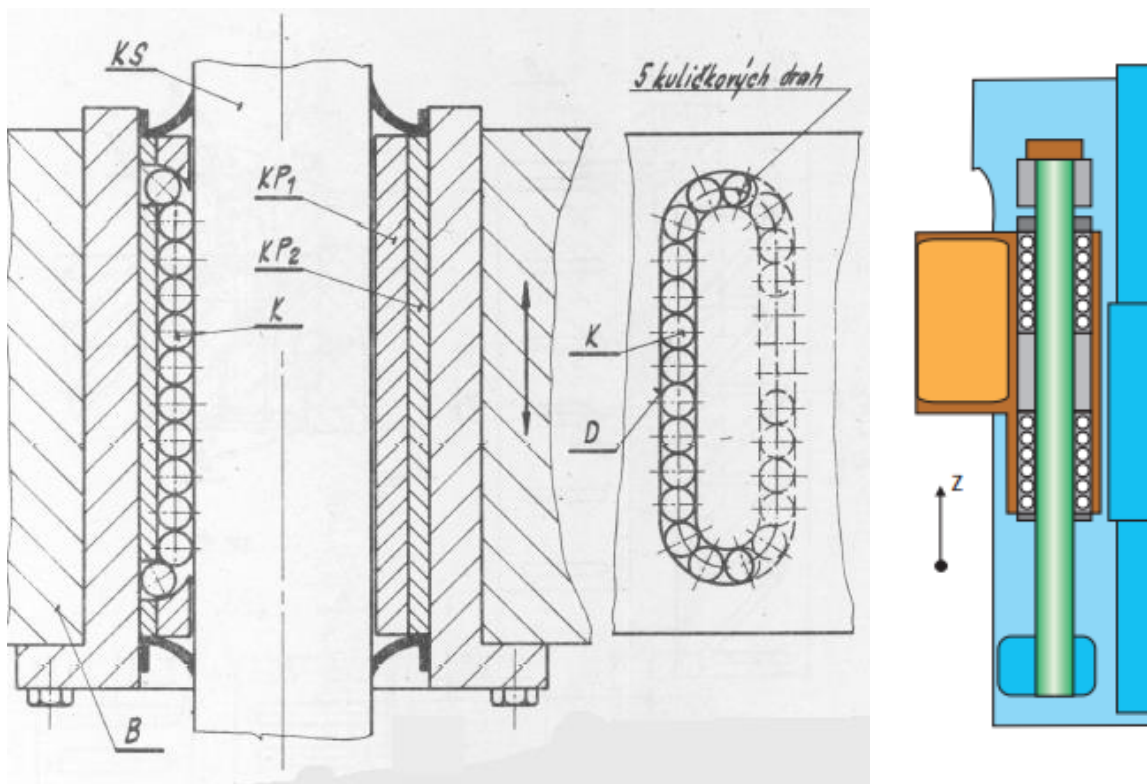
Obr. 6) a) Různá provedení pravoúhlého lištového vedení [7]

2.3 Valivé vedení

U tohoto typu vedení se jedná o valivý kontakt mezi vodícími plochami stojanu a valivými tělisky beranu nebo nástrojového držáku. Valivá těliska jsou kuličky, jehlové válečky, válečky nebo rolly v závislosti na únosnosti a použití. Vyrábí se z kalené ložiskové oceli. Dále jsou různými způsoby uchyceny ve vodícím systému, např. kuličkovými drahami, kuličkovými pouzdry, jehlovými vodícími lištami, vozíky nebo válečkovými tělesy. Valivé vedení je vhodné pouze pro tváření za studena. Výhoda oproti kluznému vedení je vyšší životnost vedení a téměř bezúdržbový provoz. Únosnost je ale obecně nižší.

2.3.1 Sloupkové vedení s kuličkovými drahami

Jedná se pouze o vedení nástrojů, s použitím pro průměry vodících sloupků do 50 mm a dovolenou silou v radiálním směru 1 kN. Valivými tělisky jsou kuličky. Pět kuličkovými drahami obíhají kuličky v kalených vodících pouzdrech po kaleném sloupku (Obr. 7). Kulička se na počátek dotyku vrací bez kontaktu s kaleným sloupkem. Kuličková pouzdra jsou nalisovaná s přesahem v beranu. Vyžadují se těsnící kroužky umožňující axiální posuv, zabráňující vniku nečistot do kuličkových pouzder. Pro stupeň přesnosti IT5 – IT6 pro sloupky a otvory se uvádí vůle 5 – 50 µm [1].

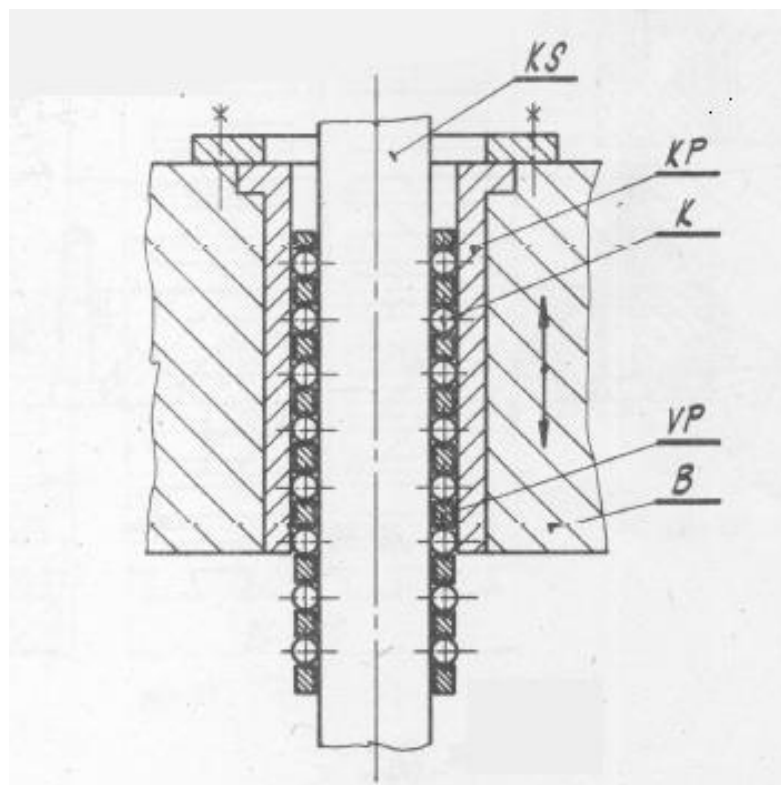


KS – kalený sloupek; KP1 – vnitřní kalené kuličkové pouzdro; KP2 – vnější kalené kuličkové pouzdro; K – kuličky; D – kuličkové dráhy; B – beran

Obr. 7) a) Sloupkové vedení kuličkovými drahami [1]
b) Sloupkové vedení kuličkovými drahami – fa Schuler [7]

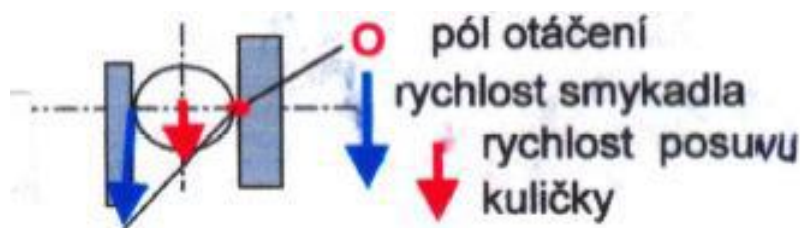
2.3.2 Sloupkové vedení s kuličkovými pouzdry

Používá se pro vedení menších beranů a nástrojových držáků. Valivými tělisky jsou opět kuličky. Beran koná přímočarý pohyb díky kuličkám zalisovaným v otvorech uspořádaných ve šroubovici vodícího pouzdra (Obr. 8). Vodící pouzdro se vyrábí z bronz. Kalené pouzdro a kalený sloupek jsou kaleny a popuštěny na $62 + 2 \text{ HRC}$. Je vhodné použít chromovou ložiskovou ocel 14100.4 nebo 14109.4, které jsou zvláště odolné proti opotřebení. Vůle opět dosahuje nulových hodnot. Nevýhodou je axiální posouvání vodícího pouzdra při pohybu beranu. Axiální posunutí tvoří přesně polovinu posuvu, což dokazuje určení okamžitého středu otáčení při valení (Obr. 9) [1], [12].



KS – kalený sloupek; KP – kalené pouzdro; K – kuličky; VP – vodící pouzdro; B – beran

Obr. 8) Sloupkové vedení kuličkovými pouzdry [1]



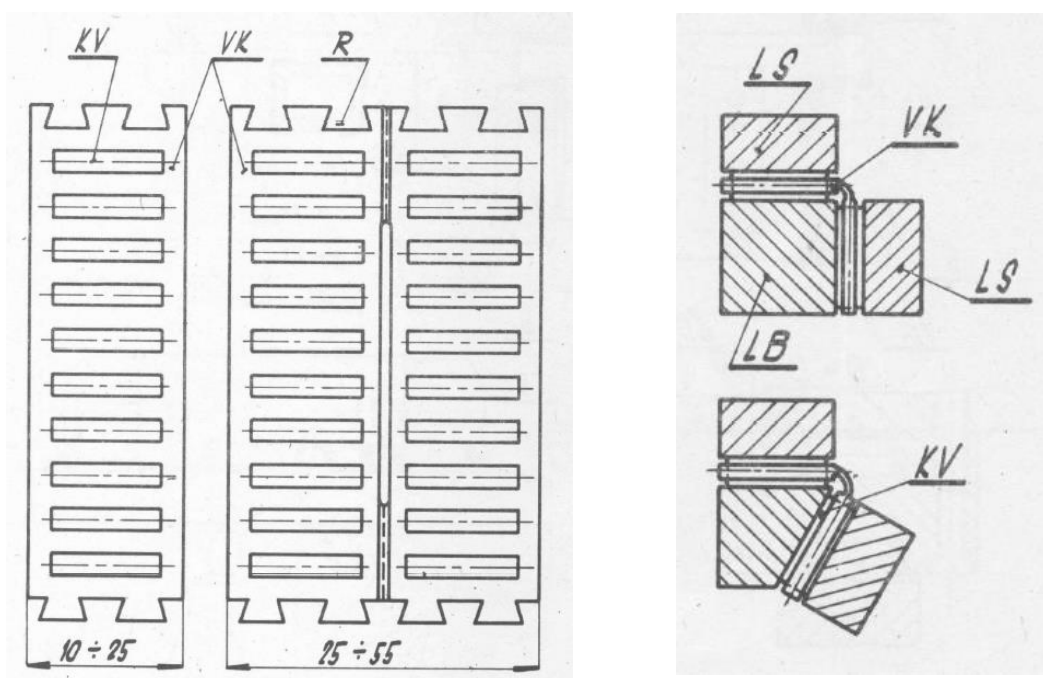
Obr. 9) Okamžitý střed otáčení při valení kuličky [12]

2.3.3 Předepnuté valivé vedení

Je pro vedení beranů. Jako valivé elementy jsou používány válečky nebo kuličky, vyrobené z kalené ložiskové oceli. Vedení je předepnuté a tím i bez vůlí. Předepnutím dosáhneme rozložení měrného zatížení po délce vedení. To má za následek zmenšení ramen normálových sil, což je výhodné pro absorbování klopného momentu. Předpokládá se lichoběžníkové až trojúhelníkové rozložení měrného zatížení [1], [13].

Jehlové vodící lišty

Valivými elementy jsou jehlové válečky, kde na jeden váleček připadá dynamická únosnost 5 – 73 kN v závislosti na velikosti lišty. Na uložení kalených jehlových válečků slouží vodící klec (lišta), která může být kovová nebo plastová (Obr. 10 a). Plastové klece dovolují ohnutí do šikmého nebo pravoúhlého tvaru a prodloužení. Dělají se jako jednoduchá (šířka 10 – 25 mm), nebo dvojité (šířka 25 – 55 mm) (Obr. 10 b). Lišty beranu a stojanu se kalí na 62 HRC. Vyskytuje se u klikových vysekávacích lisů [1].

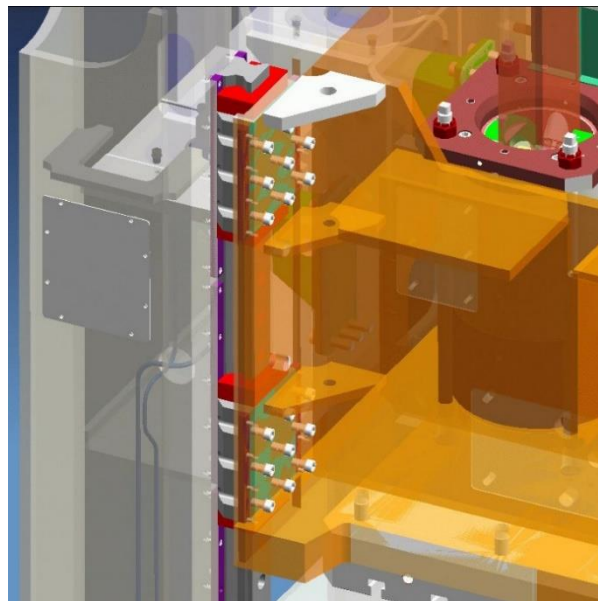
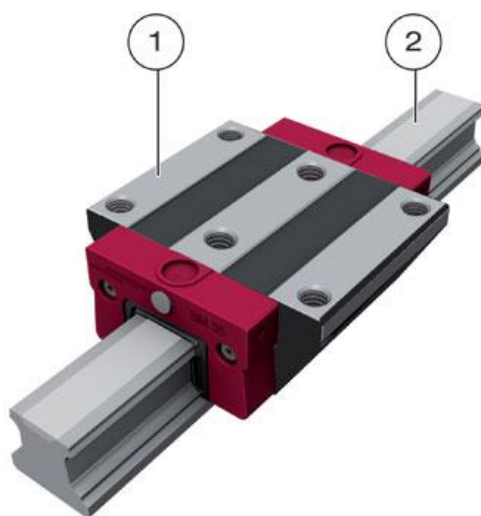


KV – kalené válečky; VK – vodící klec; R – rám; LS – lišta stojanu; LB – lišta beranu

Obr. 10) a) Vedení jehlovými vodícími lištami [1]
b) Pravoúhlý a šikmý tvar plastové klece [1]

Vedení typu monorail

Jako valivé elementy jsou používány válečky nebo kuličky. Dynamická únosnost odpovídá normě DIN ISO 281 pro výpočet valivých ložisek. Válečky mají vyšší únosnost díky přímkovému styku s lištami. Vedení se skládá z kolejnice a vozíku, v němž obíhají valivé elementy (Obr. 11 a). Kolejnice se upevňuje na stojan a vozík přišroubovává k vlastnímu beranu (Obr. 11 b). Vozík obsahuje vícenásobnou uzavřenou oběhovou jednotku zajišťující neomezený pohyb vozíku po kolejnicích. Vozíky a kolejnice jsou také z ložiskové oceli se zakalenými vodícími dráhami, případně plně zakaleny. Vozíky je vhodné těsnit stěrači a mohou být vybaveny domazávacími deskami [12], [13].



1 – kolejnice; 2 – vozík

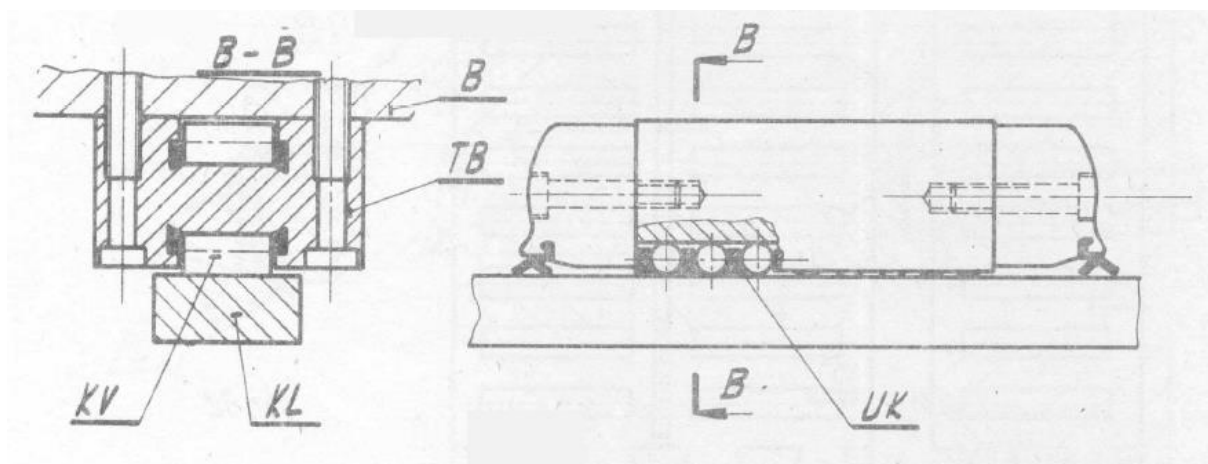
Obr. 11) a) Valivé vedení typu monorail – fa SCHNEEBERGER [13]
b) Valivé vedení typu monorial u lisu LKDE 400 [12]

2.3.4 Vedení valivými tělesy

Jedná se o speciální vozíky pro vedení vlastního beranu, ve kterých jsou uloženy válečky nebo rolly. Únosnost jednoho valivého tělesa se odvíjí od výpočtu kontaktního napětí podle Hertze a je opět vyšší díky přímkovému styku valivých elementů a vodících lišt podle velikosti tělesa. Pohybuje se v rozmezí 15 – 122 kN. Je ideálně pro zachycení středně velkých normálových sil. Na beranu jsou na jeho spodní i horní části v rozích namontována valivá tělesa (obvykle 8 – 16 ks). Uspořádání je podobné jako u pravoúhlého lištového vedení. Vodící lišty musí být kaleny. Vedení je nutné uzpůsobit k možnosti k dosažení nulové vůle ve vedení. Velký důraz je kladen na přesnost upínacích ploch těles a kalených lišt [1]. Výhoda spočívá v neomezeném zdvihu [13].

Vedení válečkovými tělesy

Válečky se používají u menších hydraulických lisů. Kalené válečky jsou upevněny v plastové unášecí kleci a ve valivém tělese beranu je pro ně vytvořená vodící dráha (Obr. 12). Odvalují se po kalené liště stojanu [1]. Na obou koncích tělesa je vhodné použít stírací těsnění proti vniku nečistot mezi válečky.



B – beran; TB – valivé těleso beranu; KV – kalené válečky; KL – kalená lišta; UK – unášecí klec

Obr. 12) Vedení beranu válečkovými tělesy [1]

Vedení valivými tělesy s rolkami

Valivé těleso může obsahovat 2 – 4 rolky podle zatížení (Obr. 13). Rolky jsou nalisovány na valivá ložiska. Ta jsou dále lisována do čepu pro uchycení rolky do tělesa vedení. Čep musí být pojištěn proti axiálnímu posunutí. Pro menší normálové síly působící do vedení je možné použít kuličková ložiska. Pro vyšší zatížení jsou vhodná válečková ložiska. Ložiska musí být dostatečně mazána a utěsněna proti vniku nečistot podle prostředí, ve kterém vedení pracuje. Materiál rolenu nejvíce trpí na kontaktní únavové napětí, takže by měl být dostatečně tvrdý a odolný vůči opotřebení, nejlépe z cementované nebo nitridované oceli. Kontakt rolky a vodící lišty se uskutečňuje bez oleje nebo maziva. Vůle ve vedení se vymezuje stavěcím zařízením.



Obr. 13) Vedení pomocí rolen – fa Schuler [7]

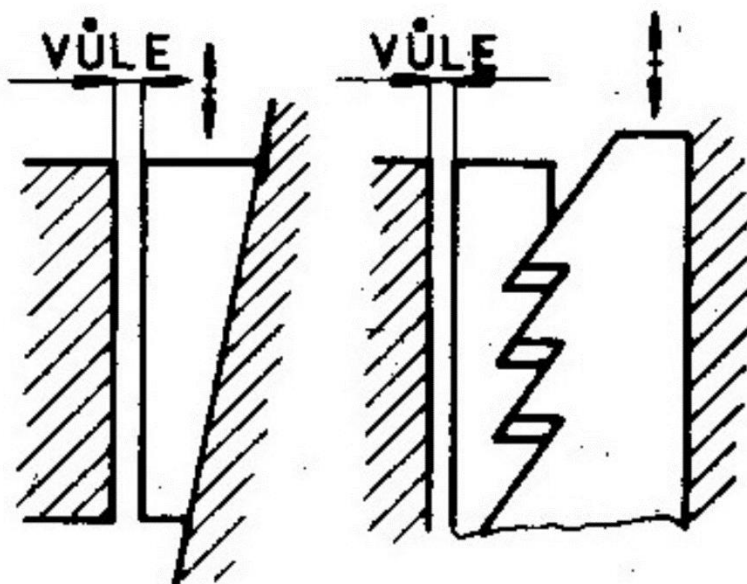
2.4 Nastavení vůle ve vedení

V dnešní době se u většiny lisů vyžaduje možnost nastavení vůle ve vedení. Je to z důvodu opotřebení vodících ploch a také rovnoměrnějšího rozložení tlaku ve vedení. U některých starších lisů tato možnost nebyla a vodící plochy nebo celý vodící systém se musel po větším opotřebení vyměnit, čímž se ale zvyšují náklady na výměnu a finanční ztráty z odstávky stroje. V praxi se běžně používají 3 způsoby.

Nastavování klínem lze použít jak u kluzného, tak i valivého vedení (Obr. 14). Klín, který se opírá o beran a vodící lištu, resp. valivé těleso, dotlačuje šrouby proti beranu, čímž se přes nakloněnou rovinu posouvá i lišta, resp. valivé těleso. Výhodou je samosvornost klínu, z čehož vyplývá, že musí být splněna podmínka samosvornosti. Nastavování vedení klínem je vhodné pro většinu vedení a s výhodou se využívají u delších vedení.

U kluzného lištového vedení je možné k vymezení vůle použít i samotné odtlačovací šrouby. Ty jsou po určitých roztečích našroubovány v dírách ve vodící liště mezi lištou a beranem. Při nastavování vůle se šrouby po malých otáčkách povolují a tím se vymezuje vůle mezi kluznými lištami beranu a stojanu. Po vymezení vůle se mezi šrouby dle potřeby vkládají dolíčovací plechy ve tvaru „E“, aby se síly od klopného momentu přenášely přes plochu. Odtlačovací šrouby se používají u kratších vedení a u vedení beranu s vodorovným pohybem.

Další možností je použití excentru. Vyskytuje se pouze u valivého vedení valivými tělesy s rolkami. Rolka s ložiskem je v tomto případě umístěna na čepu s excentrem a při natáčení excentru se vymezuje vůle mezi rolkami a vodící lištou. Lze vidět u vybraných lisů od firmy Schuler [7].



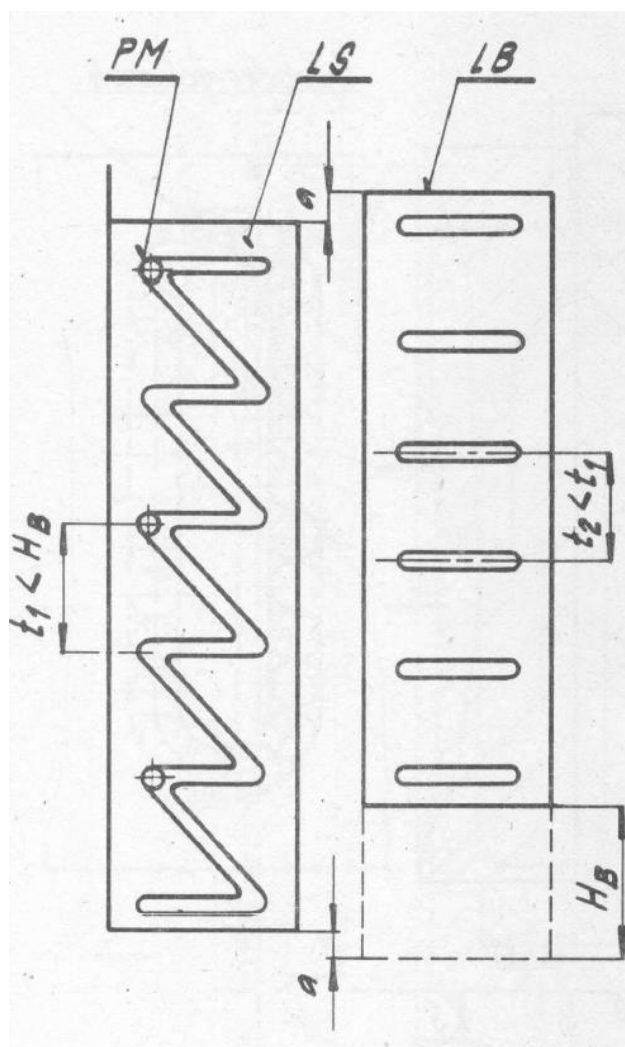
Obr. 14) Nastavení vůle ve vedení klínem [5]

2.5 Mazání vedení

Jako mazací systém se u kluzných vedení, v závislosti na mazaném materiálu, potřebě odvádět teplo a počtu mazaných míst, používá olejové nebo tukové mazání pro tváření za tepla. Často můžeme vidět použití ztrátového tlakového mazání. U tohoto druhu mazání je přebytečný olej sváděn sběrači do olejové vany pod stroj [1].

U lištového vedení se mazivo může rozvádět pomocí mazacích drážek ve tvaru „Z“ (Obr. 15) nebo pravoúhlých, v nichž jsou jednotlivé přívody maziva, které obvykle bývají v lištách stojanu. V lištách beranu jsou roztírací drážky, které mají kolmý směr na směr pohybu beranu. Rozteč mazacích drážek na liště s přívody musí být menší než zdvih a zároveň větší než roztírací drážky. Přebytečné mazivo se zachycuje ve vanách pod kluznými lištami, odkud se odvádí z pracovního prostoru lisu [1].

Valivá vedení bývají mazána lehce, např. vedení typu monorail, nebo vůbec, jak je tomu u vedení valivými tělesy s rolnami.



PM – přívod maziva; LS – lišta stojanu; LB – lišta beranu; HB – zdvih beranu; a – přejíždění beranu; t_1 – rozteč drážek na liště s přívodem maziva; t_2 – rozteč roztíracích drážek

Obr. 15) Mazací drážky ve tvaru „Z“ [1]

3 NÁVRHOVÉ A KONTROLNÍ VÝPOČTY VALIVÉHO VEDENÍ

Při návrhu vedení valivými tělesy s rolnami je zapotřebí znát normálové síly působící jako reakce na vodorovnou složku klikového mechanismu a klopného momentu. Vypočítají se pomocí zadaného excentrického zatížení od jmenovité síly, sil a momentů na klikovém mechanismu. Normálové síly se využijí pro výpočet kontaktního únavového napětí, kde se ověřují navržené rozměry rolen. Dále je třeba zvolit vhodná ložiska pod rolny a následně zkontrolovat jejich trvanlivost. V poslední řadě je třeba zkontrolovat samosvornost klínu pro seřizování vůlí ve vedení.

3.1 Zadané technické parametry

Jmenovitá síla	$F_j = 2500 \text{ kN}$
Počet zdvihů	$z = 24 \text{ min}^{-1}$
Pracovní dráha	$s = 10 \text{ mm}$
Přestavení zdvihu	$P = 130 \text{ mm}$
Šířka beranu	$B = 720 \text{ mm}$
Excentrické zatížení lisu	$e = 50 \text{ mm}$
Poloměr kliky	$r = 100 \text{ mm}$
Délka ojnice	$L_o = 1200 \text{ mm}$
Vzdálenost mezi upínací plochou beranu a čepem ojnice	$L_N = 630 \text{ mm}$
Poloměr třecích ploch mezi klikovým hřídelem a stojanem	$r_o = 100 \text{ mm}$
Poloměr klikového čepu	$r_k = 200 \text{ mm}$
Poloměr ojnicního čepu	$r_č = 100 \text{ mm}$

3.2 Zvolené technické parametry

Výška beranu	$L_B = 950 \text{ mm}$
Průměr rolny	$d_r = 80 \text{ mm}$
Šířka rolny	$b_r = 23 \text{ mm}$
Počet valivých těles ve směru působení normálové síly	$z_r = 3$
Počet rolen jednoho valivého tělesa	$z_v = 2$
Součinitel tření v klikovém mechanismu	$\mu_k = 0,04$

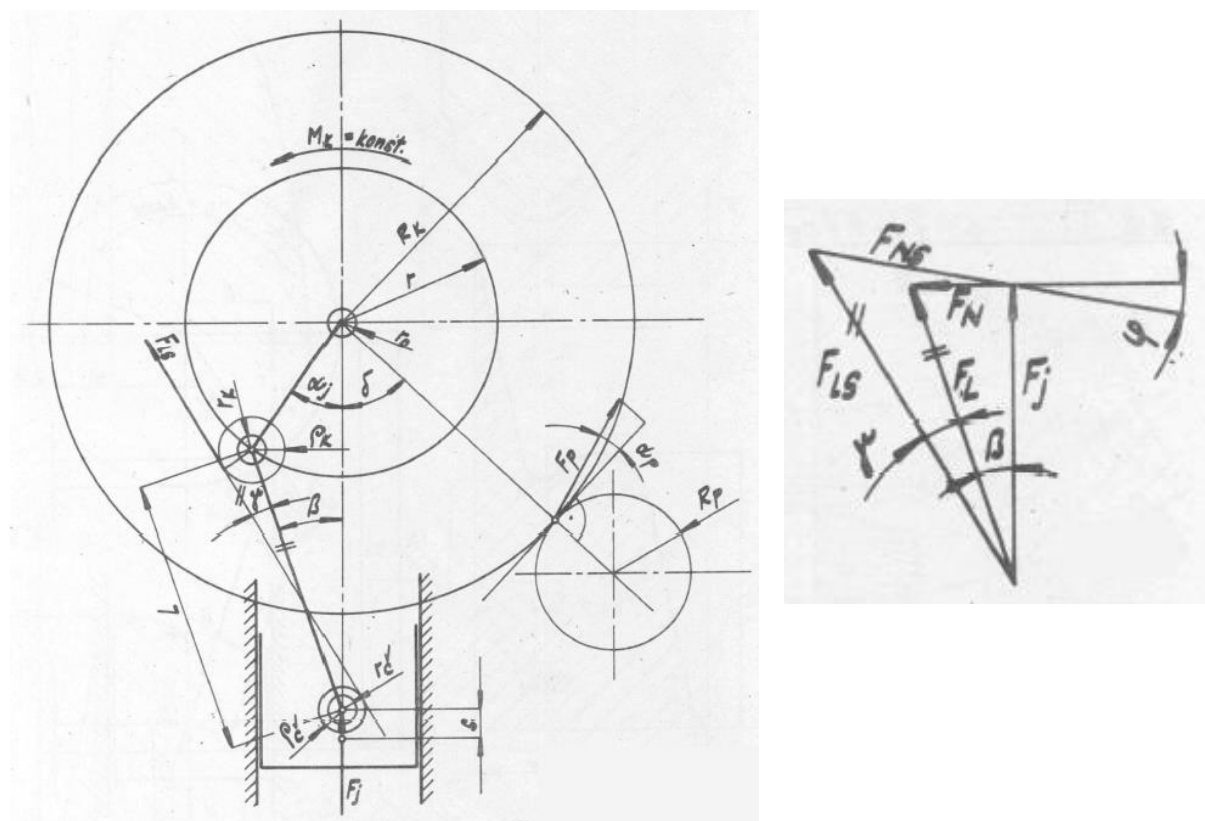
3.3 Síly a momenty na beranu jednobodového klikového lisu [1]

Výpočet sestává z určení skutečné síly v ojnici F_{LS} a normálových sil na beranu N_1 a N_2 .

3.3.1 Síly a momenty na klikovém mechanismu se třením

Pro správnost výpočtu vedení beranu klikového lisu se musí uvažovat tření v čepích klikového mechanismu. Třecí síly a momenty působí proti směru pohybu mechanismu. Síla na ojnici mění svůj úhel a zvětšuje se z důvodu zvětšení ramen sil o třecí poloměry [1] (Obr. 16 a), (Obr. 16 b).

Zavedení tření je dostačující pro přibližný návrhový výpočet. Mezi další vlivy, které by měly být brány v úvahu, patří vůle ve vedení beranu, nerovnoměrné opotřebení vedení, deformace beranu a vedení stojanu od normálových sil [1].



Obr. 16) a) Rozklad sil na klikovém mechanismu se třením [1]
b) Síly a momenty na klikovém mechanismu se třením [1]

F_{LS} – skutečná síla v ojnici, F_{NS} – skutečná normálová síla, F_L – teoretická síla v ojnici, F_N – teoretická normálová síla; F_p – síla v ozubení, M_k – kroutící moment, r_e – poloměr ojnicního čepu, r_k – poloměr klikového čepu, r_o – poloměr třecí plochy mezi klikovým hřídelem a stojanem, r – poloměr kliky, R_p – poloměr ozubeného kola, L – délka ojnice, s – pracovní dráha, ρ_e – třecí poloměr mezi beranem a ojnicí, ρ_k – třecí poloměr mezi klikovým čepem a ojnicí, ρ_o – třecí poloměr mezi klikovým hřídelem a stojanem, α_j – tvářecí úhel (úhel natočení kliky), α_p – úhel záběru ozubeného kola, β – úhel sklonu osy ojnice, γ – úhel sešikmení osy ojnice, δ – úhel mezi původním a posunutým působištěm síly F_{LS} , φ – třecí úhel kluzných ploch

Poměr poloměru kliky k délce ojnice

$$K = \frac{r}{L} = \frac{100}{1200} = 0,083 \quad (1)$$

Třecí úhel kluzných ploch

Součinitel tření v klikovém mechanismu μ_k byl zvolen na doporučení vedoucího bakalářské práce v závislosti na použití kluzných ložisek u čepů klikového mechanismu:

$$\mu_k = \tan \varphi$$

$$\varphi = \tan^{-1} \mu_k = \tan^{-1} 0,04 = 2,29^\circ \quad (2)$$

Úhel sešikmení osy ojnice

$$\gamma = \sin^{-1} \frac{\mu_k \cdot (r_{\check{c}} + r_k)}{L} = \sin^{-1} \frac{0,04 \cdot (100 + 200)}{1200} = 0,57^\circ \quad (3)$$

Úhel sklonu osy ojnice

$$\beta = \sin^{-1}(K \cdot \sin \alpha_j) = \sin^{-1}(0,083 \cdot \sin 24,86) = 2^\circ \quad (4)$$

Tvářecí úhel (úhel natočení kliky)

$$\begin{aligned} \alpha_j &= \cos^{-1} \frac{(L + r - s)^2 + r^2 - L^2}{2 \cdot r \cdot (L + r - s)} = \\ &= \cos^{-1} \frac{(1200 + 100 - 10)^2 + 100^2 - 1200^2}{2 \cdot 100 \cdot (1200 + 100 - 10)} \\ &= 24,86^\circ \end{aligned} \quad (5)$$

Skutečná síla v ojnici

$$F_{LS} = F_j \cdot \frac{\cos \varphi}{\cos(\beta + \gamma + \varphi)} = 2500 \cdot \frac{\cos 2,29}{\cos(2 + 0,57 + 2,29)} = 2502,5 \text{ kN} \quad (6)$$

Poloměr třecí plochy mezi beranem a ojnicí

$$\rho_{\check{c}} = \mu_k \cdot r_{\check{c}} = 0,04 \cdot 100 = 4 \text{ mm} \quad (7)$$

Úhel mezi osou ojnice působistěm síly F_{LS}

$$\sin \psi = \frac{\rho_{\check{c}}}{r_{\check{c}}}$$

$$\psi = \sin^{-1} \frac{\rho_{\check{c}}}{r_{\check{c}}} = \sin^{-1} \frac{4}{100} = 2,29^\circ \quad (8)$$

Úhel mezi původním a posunutým působistěm síly F_{LS}

$$\delta = 90^\circ - (\beta + \gamma + \psi) = 90^\circ - (2 + 0,57 + 2,29) = 85,14^\circ \quad (9)$$

Posunutí působistě síly F_{LS} z osy ojnicního čepu v ose x

$$x_b = r_{\check{c}} \cdot \cos \delta = 100 \cdot \cos 85,14 = 8,47 \text{ mm} \quad (10)$$

Posunutí působíště síly F_{LS} z osy ojnicního čepu v ose y

$$y_b = r_c \cdot \sin \delta = 100 \cdot \sin 85,14 = 99,64 \text{ mm} \quad (11)$$

Vodorovná složka síly F_{LS}

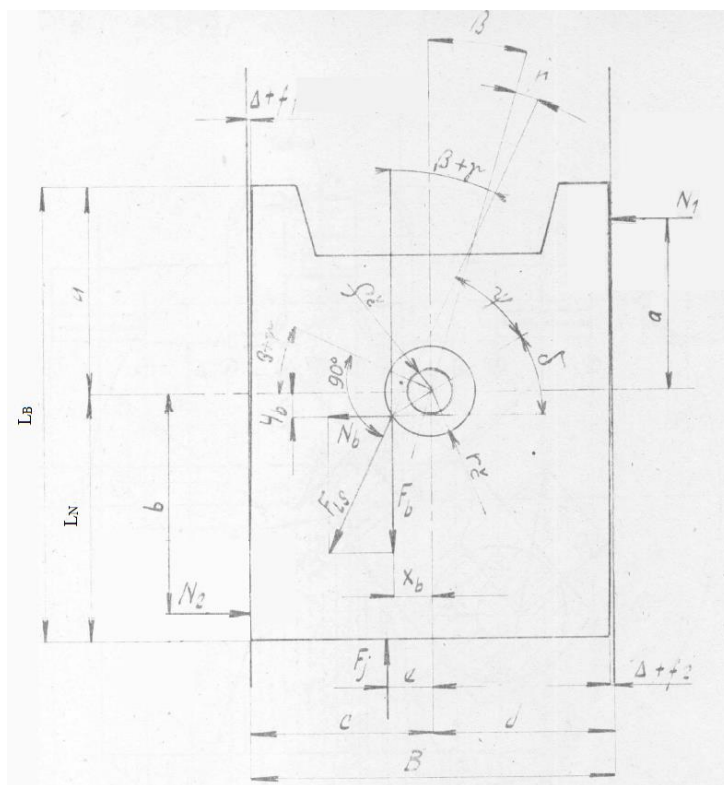
$$F_b = F_{LS} \cdot \cos(\beta + \gamma) = 2502,5 \cdot \cos(2 + 0,57) = 2500 \text{ kN} \quad (12)$$

Svislá složka síly F_{LS}

$$N_b = F_b \cdot \tan(\beta + \gamma) = 2500 \cdot \tan(2 + 0,57) = 112,2 \text{ kN} \quad (13)$$

3.3.2 Normálové síly na beranu

Úloha je staticky neurčitá, protože mezi vodící lištou a valivým tělesem jsou tři rolny, tudíž tři podpory. Na radu výpočtářů z firmy ŽŽAS lze úlohu zjednodušit staticky určitou úlohu a působení jedné normálové síly. Tato síla působí na největším možném rameni, což je v ose nejvzdálenější rolny, vztaženém ke klikovému čepu beranu. Tento zjednodušený výpočet postačuje k objektivnímu zhodnocení namáhání vedení (Obr. 17).



Obr. 17) Síly na beranu jednobodového klikového lisu [1]

Vzdálenost působíště síly N_1 k ojnicnímu čepu beranu

Výška beranu L_B měla být podle dodatečného zadání klikového mechanismu zvolena v rozmezí 950 – 1000 mm.

$$a = L_B - L_N - P = 950 - 630 - 130 = 190 \text{ mm} \quad (14)$$

Vzdálenost působíště síly N_2 k ojnicnímu čepu beranu

$$b = L_N + P = 630 + 130 = 760 \text{ mm} \quad (15)$$

Statická rovnováha sil a momentů na beranu

Po konzultaci s výrobcem lisů ve firmě ŽĎAS zvoleno toleranční pole excentricity zatížení lisu jako kruhové. V tom případě $e_{\max} = \Phi 50 \text{ mm}$.

$$\Sigma F_x = 0 : N_2 - N_1 - N_b = 0$$

$$N_2 = N_1 + N_b$$

$$\Sigma F_y = 0 : F_j - F_b = 0$$

$$F_j = F_b$$

$$\Sigma M_A = 0 : N_2 \cdot b - F_j \cdot e + F_b \cdot x_b - N_b \cdot y_b + N_1 \cdot a = 0$$

$$(N_1 + N_b) \cdot b - F_j \cdot e + F_b \cdot x_b - N_b \cdot y_b + N_1 \cdot a = 0$$

$$N_1 \cdot b + N_b \cdot b - F_j \cdot e + F_b \cdot x_b - N_b \cdot y_b + N_1 \cdot a = 0$$

$$N_1 \cdot (b + a) + N_b \cdot (b - y_b) - F_j \cdot e + F_b \cdot x_b = 0$$

$$N_1 = \frac{-N_b \cdot (b - y_b) + F_j \cdot e - F_b \cdot x_b}{b + a}$$

Normálová síla N_1

$$\begin{aligned} N_1 &= \frac{-N_b \cdot (b - y_b) + F_j \cdot e - F_b \cdot x_b}{b + a} = \\ &= \frac{-112,2 \cdot (760 - 99,64) + 2500 \cdot 50 - 2500 \cdot 8,47}{760 + 190} = 31,3 \text{ kN} \end{aligned} \quad (16)$$

Normálová síla N_2

$$N_2 = N_1 + N_b = 31,3 + 112,2 = 143,5 \text{ kN} \quad (17)$$

Normálová síla N_2 vychází vyšší hodnoty, proto se dále musí počítat s ní.

Normálová síla na jedno valivé těleso N_{2b}

$$N_{2b} = \frac{N_2}{z_b} = \frac{143,5}{2} = 71,8 \text{ kN} \quad (18)$$

Normálová síla na jednu rolnu N_{2r}

$$N_{2r} = \frac{N_{2b}}{z_r} = \frac{71,8}{3} = 23,9 \text{ kN} \quad (19)$$

3.4 Kontrola rolny na kontaktní napětí [6]

Ke kontaktnímu napětí dochází mezi dvěma tělesy se zakřivenými plochami, které jsou vzájemně stlačovány (Obr. 18) a). Např. mezi dvěma válci, dvěma koulemi, koulí a rovinnou plochou nebo válcem a rovinnou plochou. Z bodu nebo čáry dotyku se stane kontaktní plocha, přičemž se rovinná napjatost tělesa mění na prostorovou. Průběh napětí má tvar elipsy (Obr. 18 b)). Obecně kontaktní napjatost vzniká mezi dvěma tělesy s odlišnými poloměry křivosti.

Obě roviny valení přitom prochází osami přitlačných sil. V případě této úlohy dochází ke kontaktu válcové a rovinné plochy. Průměr rovinné plochy vyjádříme jako nekonečný.

Tento druh napětí se projevuje např. v místě dotyku kola s kolejnicí, mezi vačkami a zdvihátky ventilů ve spalovacích motorech, v ozubení při záběru kol a u valivých ložisek.

Typické poruchy materiálu trpícím tímto napětím jsou trhliny, jamky nebo odlupování povrchové vrstvy materiálu – pittingu.

3.4.1 Materiálové charakteristiky rolny a vodící lišty

Vodící lišta bude z kalené a rolna z nitridované oceli.

Modul pružnosti v tahu pro ocel

$$E_{\text{ocel}} = 207 \text{ GPa}$$

Poissonovo číslo pro ocel

$$\mu_{\text{ocel}} = 0,292$$

3.4.2 Výpočet kontaktního napětí na rolně

Dotykovou plochou je obdelník o šířce $2w$ a délce b_r . Průběh napětí je eliptický, jako u kontaktu válců. Výpočet odvodil Hertz, a proto se tato napětí také nazývají Hertzova.

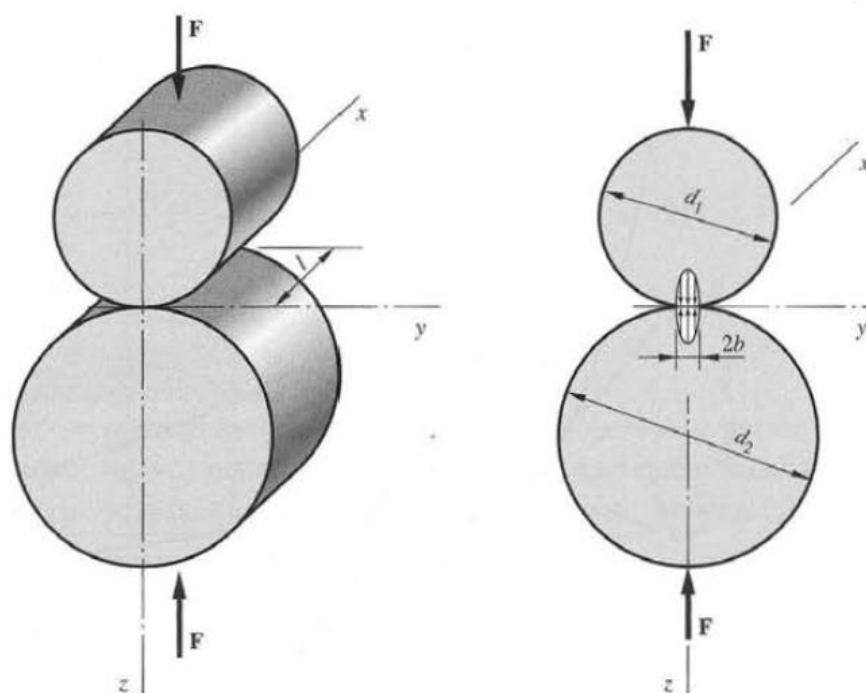
Poloviční šířka kontaktní plošky

Vyjádření průměru vodící lišty (rovinné plochy)

$$d_l = \infty$$

$$w = \sqrt{\frac{2 \cdot N_{2r}}{\pi \cdot b_r} \cdot \frac{2 \cdot \frac{1 - \mu_{\text{ocel}}^2}{E_{\text{ocel}}}}{\frac{1}{d_r} + \frac{1}{d_l}}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 23900}{\pi \cdot 0,023} \cdot \frac{2 \cdot \frac{1 - 0,292^2}{207 \cdot 10^9}}{\frac{1}{0,083} + \frac{1}{\infty}}} \quad (20)$$

$$= 6,96 \cdot 10^{-4} \text{ m} = 0,696 \text{ mm}$$



Obr. 18) a) Válce stlačované proti sobě silami F
b) Eliptický průběh Hertzova tlaku

Maximální Hertzův tlak

Zvolena nitridační ocel 15 230 (1.7361), stupeň kvality ML podle ISO 6336-5:2003 (Obr. 19).

typ	zkratka	typ napětí	stupnice tvrdosti	tvrdost povrchu H		konstanty		stupeň kvality	σ_{Hlim} (MPa)	
				min.	max.	A	B		min.	max.
nitridační oceli	NT (nitr.)		HV	650	900	0,000	1 125	ML	1125	1125
				650	900	0,000	1 250	MQ	1250	1250
				650	900	0,000	1 450	ME	1450	1450

v dotyku

A, B – výpočtové konstanty, σ_{Hlim} – mez únavy v dotyku

ML – nízké požadavky na kvalitu materiálu a jeho tepelné zpracování během výroby

MQ – označuje zvýšené požadavky, kterých může být dosaženo zejména zkušeným výrobcem při přijatelných výrobních nákladech

ME – představuje vysoké požadavky, které musí být splněny v případě, že je požadována vysoká spolehlivost

Obr. 19) Meze únavy v dotyku pro nitridované oceli [6]

$$p_{max} = \frac{2 \cdot N_{2r}}{\pi \cdot w \cdot b_r} = \frac{2 \cdot 23900}{\pi \cdot 0,697 \cdot 23} = 949 \text{ MPa} \quad (21)$$

$$p_D = \sigma_{Hlim} = 1125 \text{ MPa} \quad (22)$$

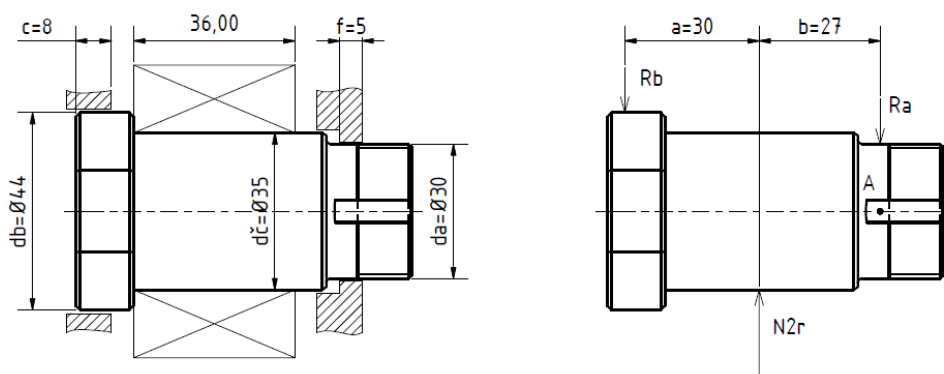
$$p_{max} \leq p_D \quad (23)$$

$$949 < 1125$$

Rolna na kontaktní napětí v dotyku vyhovuje.

3.5 Pevnostní kontrola čepu rolny

Čep je namáhán na ohyb a otlacení od reakcí v podporách (Obr. 20) a), (Obr. 20) b). Čep je z oceli 11 500.



R_a , R_b – reakce, N_{2r} – normálová síla na jednu rolnu

Obr. 20) a) Náčrt čepu
b) Silové působení na čep

3.5.1 Statická rovnováha na čepu

$$\Sigma F_x = 0$$

$$\Sigma F_y = 0 : R_a + R_b - N_{2r} = 0$$

$$\Sigma M_A = 0 : N_{2r} \cdot a - R_b \cdot (a + b) = 0$$

$$R_b = \frac{N_{2r} \cdot a}{(a + b)} = \frac{23,9 \cdot 30}{(30 + 27)} = 12,6 \text{ kN} \quad (24)$$

$$R_a = N_{2r} - R_b = 23,9 - 12,6 = 11,3 \text{ kN} \quad (25)$$

3.5.2 Kontrola otlačení čepu

Dovolené otlačení čepu

$$p_{Do} = 90 \text{ MPa}$$

Otlačení pod silou R_a

$$p_a = \frac{R_a}{d_a \cdot f} = \frac{11300}{30 \cdot 5} = 75 \text{ MPa} \quad (26)$$

Otlačení pod silou R_b

$$p_b = \frac{R_b}{d_b \cdot c} = \frac{12600}{44 \cdot 8} = 36 \text{ MPa} \quad (27)$$

Nejvyšší hodnota tlaku je v místě reakce R_a , dále se musí počítat s ní.

$$p_a \leq p_{Do} \quad (28)$$

$$75 < 90$$

Čep na otlačení vyhovuje.

3.5.3 Kontrola na ohyb čepu

Dovolené napětí v ohybu pro čep

$$\sigma_{Doč} = 100 \text{ MPa}$$

Ohyb momentem od síly R_a

$$\sigma_{oa} = \frac{M_{oa}}{W_o} = \frac{R_a \cdot a}{\frac{\pi \cdot d_{\check{c}}^3}{32}} = \frac{11300 \cdot 30}{\frac{\pi \cdot 35^3}{32}} = 81 \text{ MPa} \quad (29)$$

Ohyb momentem od síly R_b

$$\sigma_{ob} = \frac{M_{ob}}{W_o} = \frac{R_b \cdot b}{\frac{\pi \cdot d_{\check{c}}^3}{32}} = \frac{12600 \cdot 27}{\frac{\pi \cdot 35^3}{32}} = 81 \text{ MPa} \quad (30)$$

Hodnoty napětí v ohybu jsou pod oběma reakcemi přibližně stejné.

$$\sigma_{oa} = \sigma_{ob} = \sigma_o \quad (31)$$

$$\sigma_o \leq \sigma_{Doč} \quad (32)$$

$$81 \leq 100$$

Čep na napětí v ohybu vyhovuje.

Výpočet trvanlivosti ložisek [6]

Výpočet se provádí pro konstantní frekvenci otáčení ložiska.

3.5.4 Parametry pro volbu ložiska

Radiální zatížení ložiska

$$F_r = N_{2r} = 23,9 \text{ kN}$$

Axiální zatížení ložiska

$$F_a = 0 \text{ kN}$$

Otáčky ložiska

$$n = z = 24 \text{ min}^{-1}$$

Požadovaná trvanlivost ložiska

Určeno pro provoz 16 h denně, 250 pracovních dní v roce a 6 let.

$$L_D = 250 \cdot 16 \cdot 6 = 24000 \text{ h} \quad (33)$$

Průměr kliky

$$d_k = 2 \cdot r = 2 \cdot 100 = 200 \text{ mm} \quad (34)$$

Obvodová rychlost ložiska

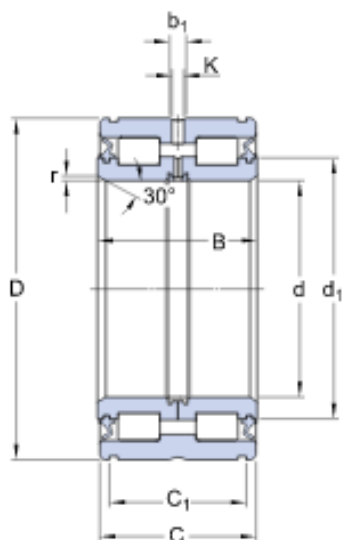
$$v = \frac{\pi \cdot d_k \cdot n}{60} = \frac{\pi \cdot 0,2 \cdot 24}{60} = 0,25 \text{ m/s} \quad (35)$$

3.5.5 Volba ložiska

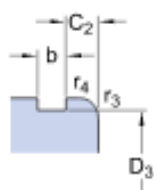
Je dáno poměrně vysoké radiální zatížení ložiska, axiální je nulové. Ložisko bude uloženo v rolně a tím pádem se při výběru ložiska v rámci zástavbových rozměrů ložiska nelze pohybovat ve velkém rozmezí. Ložisko musí být také dostatečně mazáno, kvůli zvýšení životnosti a tím bezporuchového provozu. Kuličková a jednořadá válečková ložiska by musela být zbytečně velká, aby byla dostatečně únosná a splňovala trvanlivost. Proto bylo zvoleno dvouřadá válečkové ložisko s plným počtem valivých těles s těsněním – ložisko NNF 5007 ADB – 2LSV – od výrobce ložisek SKF (Obr. 21). Tento typ ložiska je od dodavatele naplněn plastickým mazivem a těsněn nalisovaným těsněním proti jeho úniku a proti vniku nečistot zvenčí. Ložisko je tedy doživotně mazáno, čímž se značně sníží náklady na jeho domazávání. Dále je na vnějším kroužku z obou stran vyrobená drážka pro pojistný kroužek 62x2 odpovídající normě DIN 471. Po zalisování ložiska do rolny se ložisko pojistí proti axiálnímu posunutí těmito pojistnými kroužky.

Rozměry a výpočtová data ložiska, včetně dynamické únosnosti, uvedena v tabulkách níže (Obr. 22, Obr. 23).

Parametry ložiska



Obr. 21) Řez ložiskem [15]



d	35	mm
D	62	mm
B	36	mm
C	35	mm
d ₁	≈ 46.1	mm
D ₃	60	mm
C ₁	30.2	mm
	+ 0.2	mm
C ₂	2.4	mm
b	2.1	mm
b ₁	7.5	mm
K	4.5	mm
r	min. 0.5	mm
r _{3,4}	min. 0.3	mm

Obr. 22) Rozměry ložiska [15]

Základní dynamická únosnost	C	70.4	kN
Základní statická únosnost	C ₀	98	kN
Mezní únavové zatížení	P _u	10.6	kN
Referenční otáčky		2200	r/min
Mezní otáčky		2200	r/min
Výpočtový součinitel	k _r	0.4	

Obr. 23) Výpočtová data ložiska [15]

Základní výpočtová trvanlivost ložiska

Konstanta pro válečková ložiska

$$a = 10/3$$

$$L_{10} = \left(\frac{C}{F_r}\right)^a \cdot \frac{10^6}{60 \cdot n} = \left(\frac{70,4}{23,9}\right)^{\frac{10}{3}} \cdot \frac{10^6}{60 \cdot 24} = 25442 \text{ h} \quad (36)$$

$$L_{10} \geq L_D \quad (37)$$

$$25442 > 24000$$

Trvanlivost ložiska vyhovuje.

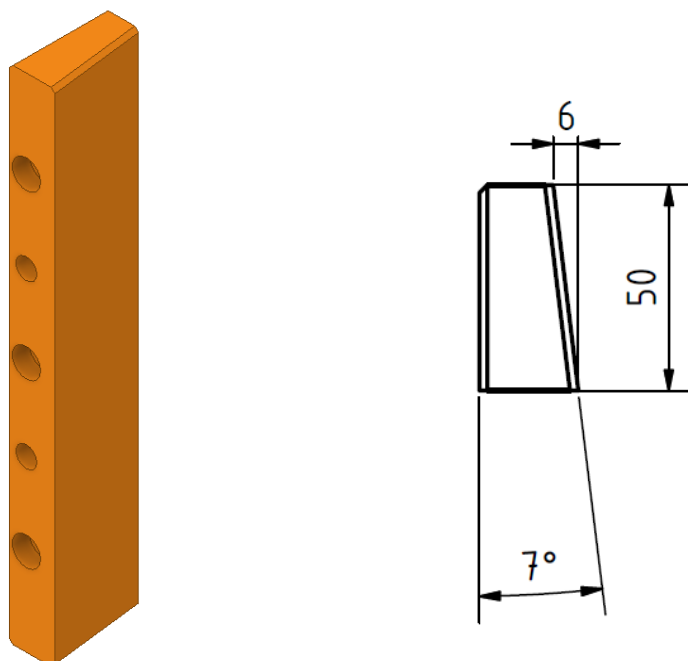
3.6 Samosvornost stavěcího klínu

Jako zařízení pro seřizování vřelí ve vedení byl zvolen klín (Obr. 24 a). Samosvorností klínu dosáhneme pojištění valivého tělesa proti povolení při seřizování vřelí. Vychází se z podmínky samosvornosti na nakloněné rovině. Klín je vybaven ještě dotlačovacími šrouby M6, které zároveň slouží druhý pojistný prvek na principu kontra dotažení.

3.6.1 Parametry pro návrh klínu

Rozměry klínu byly zvoleny v závislosti na zástavbových rozměrech v beranu (Obr. 24 b).

Třecí součinitel kontaktu ocel – ocel za suchého stavu	$\mu_s = 0,15$
Délka klínu	$a_k = 50 \text{ mm}$
Šířka klínu	$b_k = 6 \text{ mm}$
Úhel sklonu klínu	$\theta = 6,9^\circ$



Obr. 24) a) Klín pro seřizování vřelí
b) Rozměry klínu

3.6.2 Kontrola samosvornosti klínu

$$\mu_s \cdot a_k = 0,15 \cdot 8 = 7,5 \text{ mm} \quad (38)$$

$$b_k \cdot \cos\left(\frac{\theta}{2}\right) = 8 \cdot \cos\left(\frac{6,9}{2}\right) = 6 \text{ mm} \quad (39)$$

$$\mu_s \cdot a_k > b_k \cdot \cos\left(\frac{\theta}{2}\right) \quad (40)$$

$$7,5 > 6$$

Klín je samosvorný.

4 ZÁVĚR

Cílem této práce byl návrh valivých těles (hnízd) vedení beranu mechanického lisu o jmenovité síle 2500 kN s možností vymezení vůlí. Mechanismus vymezení vůlí měl být součástí valivého hnízda. Lis je navržen jako jednobodový klikový lis s uzavřeným rámem.

Cíl, kterého bylo dosaženo, je návrh rolny trpící na kontaktní napětí a jejího uložení ve valivém tělese. Musel se provést kontrolní výpočet Hertzova tlaku mezi rolnou a vodící lištou. Bylo zvoleno uložení tří rolen do jednoho valivého tělesa. Rolna se bude vyrábět z nitridované oceli 15 230. Beran bude osazen v každém rohu dvěma rolnami na své spodní i vrchní straně, tzn. že dohromady na beranu bude 16 ks valivých těles. Byla snaha o to, aby valivá tělesa byla na celém beranu stejná. V jednom rohu je jedno z valivých těles částečně zapuštěno a druhé šroubováno přímo ke stěně beranu, z toho důvodu se u valivých těles po bocích beranu používá větší klín pro seřizování vůle. Tím se zajistila shodnost valivých těles, což je výhodné z hlediska zaměnitelnosti a zlevnění nákladů na výrobu.

Dalším důležitým bodem je mechanismus vymezení vůlí, které vznikají opotřebením rolen a vodících lišt. V tomto případě se zvolilo vymezování vůle samosvorným klínem. Klín je dále pojištěn kontra šrouby. Další možností seřizování vůle by bylo stavěcími šrouby nebo excentrickým čepem v rolnách.

Při působení normálové síly je značně zatěžován čep rolny a provádí se pro něj kontrolní výpočet na otlacení a ohyb. Při volbě oceli 11 500 vychází hodnoty napětí pod dolní hranici hodnot dovolených. Proti axiálnímu pojištění čepu se použije KM matice s MB podložkou.

V poslední řadě se musela ověřit trvanlivost ložisek pod rolnami. Optimální volbou pro ušetření prostoru a zvýšení trvanlivosti byla volba dvouřadého válečkového ložiska s plným počtem valivých těles s těsněním. Tato ložiska jsou naplněna plastickým mazivem od dodavatele. Tím se značně zlevní náklady na domazávání ložisek.

5 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] KAMELANDER, I. *Tvářecí stroje I*. 3. vydání. Brno: VUT Brno, 1989. ISBN 80-214-1037-X.
- [2] RUDOLF, B.; KOPECKÝ, M. A KOL. *Tvářecí stroje – Základy stavby a využití*. 1.vydání. Praha: SNTL, 1985.
- [3] RUDOLF, B.; KOPECKÝ, M. *Tvářecí stroje – Základy výpočtů a konstrukce*. 1. vydání. Praha: SNTL; Bratislava: ALFA, 1979.
- [4] KOVÁČ, A.; JENKUT, M. *Tvárníacie stroje*. 1. vydání. Bratislava: ALFA, 1978.
- [5] NOVOTNÝ K. *Výrobní stroje. Část I. – Tváření*. 2. vydání. Brno: VUT Brno, 1987.
- [6] SHIGLEY, Joseph Edward, MISCHKE, Charles R., BUDYNAS, Richard G. *Konstruování strojních součástí*. 3. vydání. Brno: VUTUM, 2010. ISBN 978-80-214-2629-0.
- [7] SCHULER Metal Forming Handbook [online]. c1998 [cit. 24. 11. 2016]. Dostupné na WWW: <http://staff.uny.ac.id/sites/default/files/pendidikan/aan-ardian-mpd/3c-handbook-metal-forming.pdf>. ISBN 3-540-61185-1
- [8] agrometal.sk [online]. [cit. 6. 10. 2016]. Dostupné na WWW: <http://www.agrometal.sk/images/predaj/lis250/01.jpg>.
- [9] zdas.cz [online]. [cit. 6. 10. 2016]. Dostupné na WWW: http://www.zdas.cz/cs/user_img/7/16/0_ckv2.jpg.
- [10] alms-brno.cz [online]. [cit. 7. 10. 2016]. Dostupné na WWW: <http://www.alms-brno.cz/produkty/4-bronz/>.
- [11] zdas.cz [online]. [cit. 20. 10. 2016]. Dostupné na WWW: http://www.zdas.cz/cs/user_img/7/18/78/0_cth5.jpg.
- [12] OMES, J. *Stavby výrobních strojů a robotů*. Přednáška. Brno: VUT – FSI, 26. 11. 2015.
- [13] monorail.cz [online]. [cit. 2. 4. 2017]. Dostupné na WWW: <http://www.monorail.cz/8-linearni-vedeni-monorail.html>.
- [14] zdas.cz [online]. [cit. 4. 4. 2017]. Dostupné na WWW: <http://www.zdas.cz/cs/content.aspx?id=75>.
- [15] skf.com [online]. [cit. 20. 4. 2017]. Dostupné na WWW: <http://www.skf.com/cz/products/bearings-units-housings/roller-bearings/cylindrical-roller-bearings/double-row-full-complement-cylindrical-roller-bearings/double-row-full-complement/index.html?designation=NNF%205007%20ADB-2LSV&unit=metricUnit>.

6 SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK

6.1 Seznam obrázků

Obr. 1)	Jednobodový klikový univerzální lis LU 250 [8]	16
Obr. 2)	Hornotlaký čtyřsloupový kovací lis CKV 7200/10500 [9]	17
Obr. 3)	Řez čtyřsloupovým vedením beranu hydraulického lisu [1]	18
Obr. 4)	a) Hydraulický univerzální lis CTH [11] b) Lištové vedení ve tvaru „X“ [1] ...	20
Obr. 5)	a) Kombinace lištového vedení ve tvaru „O“ a pravoúhlého [3] b) Lištového vedení ve tvaru „O“ [3]	21
Obr. 6)	a) Různá provedení pravoúhlého lištového vedení [7]	21
Obr. 7)	a) Sloupkové vedení kuličkovými dráhami [1] b) Sloupkové vedení kuličkovými dráhami – fa Schuler [7]	22
Obr. 8)	Sloupkové vedení kuličkovými pouzdry [1]	23
Obr. 9)	Okamžitý střed otáčení při valení kuličky [12]	23
Obr. 10)	a) Vedení jehlovými vodíci lištami [1] b) Pravoúhlý a šikmý tvar plastové klece [1]	24
Obr. 11)	a) Valivé vedení typu monorail – fa SCHNEEBERGER [13] b) Valivé vedení typu monorial u lisu LKDE 400 [12]	25
Obr. 12)	Vedení beranu válečkovými tělesy [1]	26
Obr. 13)	Vedení pomocí rolen – fa Schuler [7]	27
Obr. 14)	Nastavení vůle ve vedení klínem [5]	28
Obr. 15)	Mazací drážky ve tvaru „Z“ [1]	29
Obr. 16)	a) Rozklad sil na klikovém mechanismu se třením [1] b) Síly a momenty na klikovém mechanismu se třením [1]	32
Obr. 17)	Síly na beranu jednobodového klikového lisu [1]	34
Obr. 18)	a) Válců stlačované proti sobě silami F b) Eliptický průběh Hertzova tlaku	36
Obr. 19)	Meze únavy v dotyku pro nitridované oceli [6]	37
Obr. 20)	a) Náčrt čepu b) Silové působení na čep	37
Obr. 21)	Řez ložiskem [15]	40
Obr. 22)	Rozměry ložiska [15]	40
Obr. 23)	Výpočtová data ložiska [15]	40
Obr. 24)	a) Klín pro seřizování vůlí b) Rozměry klínu	41

7 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1 – Výkres sestavy jednobodového klikového lisu

Příloha č. 2 – Výkres sestavy valivého vedení beranu

Příloha č. 3 – Výkres sestavy valivého tělesa

Příloha č. 4 – Výkres tělesa rolen

Příloha č. 5 – Výkres rolny

Příloha č. 6 – Výkres čepu

Příloha č. 2 – Výkres čelního klínu